



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 59 788 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 60 T 13/66**  
B 60 T 11/16  
B 60 T 8/32

②① Aktenzeichen: 101 59 788.6  
②② Anmeldetag: 5. 12. 2001  
④③ Offenlegungstag: 26. 6. 2003

DE 101 59 788 A 1

⑦① Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Bickel, Boris, Dipl.-Ing., 70329 Stuttgart, DE;  
Niemann, Ekkehard, Dipl.-Phys., 63454 Hanau, DE

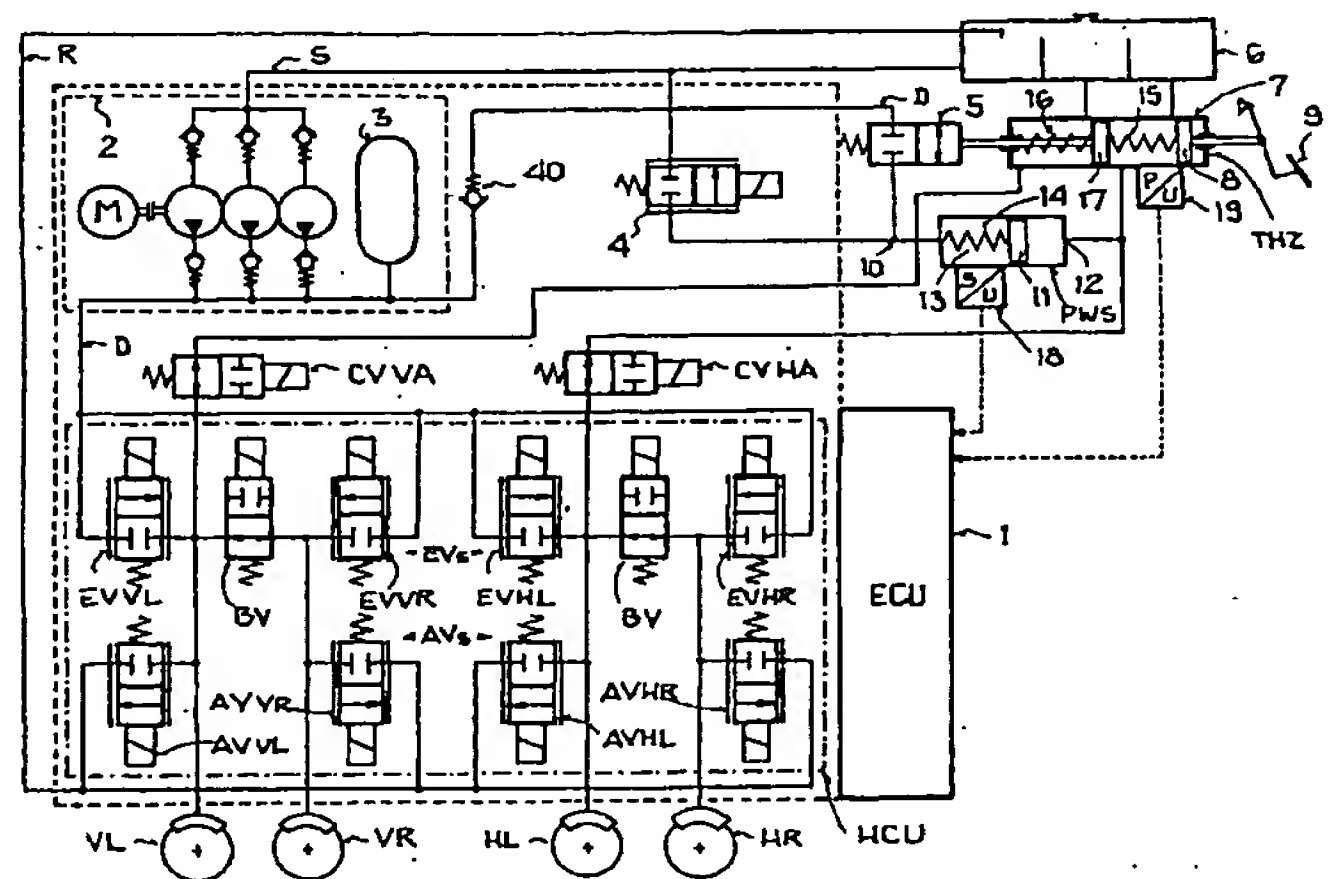
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 199 63 760 A1  
WO 99/29 548 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Pedalwegsimulator mit Bremsflüssigkeitsrückförderung und Tandemhauptbremszylinder für ein elektrohydraulisches Bremssystem

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Bremsflüssigkeitsrückförderung aus einem Pedalwegsimulator in den Hilfsbremskreis eines elektrohydraulischen Bremssystems, sowie ein elektrohydraulisches Bremssystem und einen Tandemhauptbremszylinder. Hierzu wird im Notfall die Rückförderleitung des Pedalwegsimulators, die im Normalbetrieb mit dem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter verbunden ist, von dem drucklosen Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter getrennt und stattdessen mit der Druckseite des elektrohydraulischen Druckversorgungssystems oder zumindest mit dem Druckspeicher des elektrohydraulischen Systems verbunden.



DE 101 59 788 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft für ein Verfahren und eine Anordnung zur Bremsflüssigkeitsrückförderung aus einem Pedalwegsimulator in den Hilfsbremskreis eines Elektrohydraulischen Bremssystems, sowie ein Elektrohydraulisches Bremssystem und einen Tandemhauptbremszylinder.

[0002] Ein Elektrohydraulisches Bremssystem mit Pedalwegsimulator ist beispielsweise in der WO 99/29548 ausführlich beschrieben. Bei konventionellen Bremsanlagen für Personenkraftwagen wird die Bremskraft des Fahrers mittels Hebelübersetzung des Bremspedals mechanisch auf einen Bremskraftverstärker und dann verstärkt weiter auf den Hauptbremszylinder übertragen. Mit dem erzeugten Druck wird die gewünschte Bremswirkung an den einzelnen Radbremsen erzielt. Bei einer elektrohydraulischen Bremse ist diese rein mechanisch-hydraulische Wirkungskette unterbrochen und durch Sensoren, ein Steuergerät und eine Druckversorgung ersetzt. Es besteht einer Normalbremsung keine mechanische oder hydraulische Verbindung zwischen dem Bremspedal und der Radbremse.

[0003] Eine elektrohydraulische Bremse besteht aus folgenden Komponenten:

Einer Betätigungseinheit aus Bremspedal, Hauptbremszylinder und Pedalwegsimulator, einem Hydroaggregat, Sensoren (z. B. Wegsensoren, Drucksensoren, Raddrehzahlsensoren), elektrischen Steuergeräten für das Hydroaggregat, einer Druckversorgung, Steuer- und Druckleitungen sowie Hydraulikventilen.

[0004] Die grundsätzliche Arbeitsweise einer elektrohydraulischen Bremse läßt sich wie folgt zusammenfassen: Zwei unterschiedliche Sensoren – ein Sensor an der Betätigungseinheit für den Pedalweg und ein Drucksensor am Hydroaggregat – erfassen den Bremswunsch und übertragen ihn an das Steuergerät. In diesem Steuergerät sind auch die Funktionen Bremskraftverstärkung, Antiblockiersystem (ABS), Antriebsschlupfregelung (ASR) und Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) mittels Software integriert. Die weiteren Sensoren von ABS, ASR und ESP liefern dem Steuergerät Daten über den Fahrzustand wie Geschwindigkeit oder Kurvenfahrt und über den Bewegungszustand der einzelnen Räder. Aus diesen Daten ermittelt die Software des Steuergerätes Signale für das Hydroaggregat, das diese in Bremsdrücke für die einzelnen Räder umsetzt. Eine elektrisch angetriebene Hydraulikpumpe mit einem Hochdruckspeicher und Drucküberwachung bildet die Druckversorgung.

[0005] Im ungestörten Zustand des elektrohydraulischen Bremssystems, d. h. im Normalbetrieb, wirkt das Bremspedal auf den Hauptbremszylinder und den nachgeordneten Pedalwegsimulator. Die Normalbremsung erfolgt mit der Ansteuerung des Hydroaggregates. Tritt während der Bremsung ein Fehler im Bremssystem auf, wird aus Sicherheitsgründen in einen Zustand geschaltet, bei dem eine hydraulische Verbindung zwischen der Betätigungseinheit und den Radbremsen hergestellt ist.

[0006] An diesem Punkt setzt die Erfindung an.

[0007] Bei bekannten Elektrohydraulischen Bremssystemen wird im Fehlerfall die Druckversorgung des elektrohydraulischen Bremssystems mit Trennventilen vom den Radbremsen getrennt. Das Fahrzeug wird dann mit der Muskelkraft des Fahrers zum Stehen gebracht. Ein eventuell noch vorhandener Druckvorrat in der Druckversorgung des elektrohydraulischen Bremssystems bleibt für die Hilfsbremsung ungenutzt.

[0008] Ein weiterer verbesserungsfähiger Zustand tritt ein, wenn bei bekannten elektrohydraulischen Bremssystemen die elektrohydraulische Komponente während eines

bereits eingeleiteten Bremsvorganges ausfällt und auf den Hilfsbremskreis umgeschaltet werden muß. In diesem Fall wurde nämlich das Bremspedal bereits noch im Normalbetrieb durchgedrückt und die Bremsflüssigkeit aus dem Hauptbremszylinder bereits zum großen Teil in den Pedalwegsimulator befördert. Die Bremsflüssigkeit im Pedalwegsimulator steht aber bei bekannten elektrohydraulischen Bremssystemen für die Hilfsbremsung nicht mehr zur Verfügung. Selbst wenn die noch im Hauptbremszylinder befindliche Bremsflüssigkeit ausreicht, um eine Hilfsbremsung ausführen zu können, was durch konstruktive Maßnahmen stets sicher gestellt ist, so verringert sich doch der Pedalweg bei einer Hilfsbremsung beträchtlich. Dies führt zu einer Verschlechterung der ergonomischen Kräfteverhältnisse.

[0009] Ausgehend von dem vorbeschriebenen Stand der Technik stellt sich die erfindungsgemäße Aufgabe bei bekannten elektrohydraulischen Bremssystemen die mechanisch-hydraulischen Hilfsbremseigenschaften zu verbessern.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0011] Die Lösung gelingt durch eine Rückförderung der Bremsflüssigkeit aus dem Pedalwegsimulator in den Hilfsbremskreis. Hierzu wird im Notfall die Rückförderleitung des Pedalwegsimulators, die im Normalbetrieb mit dem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter verbunden ist, von dem drucklosen Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter getrennt und stattdessen mit der Druckseite des elektrohydraulischen Druckversorgungssystems oder zumindest mit dem Druckspeicher des elektrohydraulischen Systems verbunden.

[0012] Mit der Erfindung werden hauptsächlich die folgenden Vorteile erzielt:

Im Notfall, wenn die elektrohydraulische Komponente des Bremssystems ausfällt, wird der Restdruck des Druckspeichers genutzt, die Bremsflüssigkeit, die vom Hauptbremszylinder in den Pedalwegsimulator gefördert wurde, für eine Hilfsbremsung zusätzlich zur Verfügung zu stellen. Bei der Erfindung erfolgt die Volumenrückförderung der Bremsflüssigkeit vom Pedalwegsimulator zurück in den Hauptbremszylinder und den daran angeschlossenen Hilfsbremskreis. Das Rückfördervolumen steht damit für die Hilfsbremsung zur Verfügung und verringert den Pedalweg. Ein Lösen des Bremspedals und damit eine Unterbrechung des Bremsmanövers, um ein Nachfließen von Bremsflüssigkeit aus dem Vorratsbehälter in den Hauptbremszylinder zu ermöglichen, ist mit der erfindungsgemäßen Volumenrückförderung nicht notwendig. Das Bremsmanöver kann ohne Unterbrechung zu Ende durchgeführt werden.

[0013] Wenn bei Ausfall der elektrohydraulischen Komponente des Bremssystems das Bremspedal bereits betätigt ist und damit der Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter vom Hauptbremszylinder getrennt ist, unterstützt der Restdruck des Druckspeichers die Hilfsbremsung.

[0014] Die Ankopplung der Rückförderleitung des Pedalwegsimulators an die Druckseite der Druckversorgung hat aber auch im Normalbetrieb des Elektrohydraulischen Bremssystems Vorteile. Hierzu wird die Rückförderleitung des Pedalwegsimulators über eine Parallelschaltung sowohl an die Druckseite als auch an die Saugseite der Druckversorgung gekoppelt. In jedem Zweig der parallelen Ankopplung befindet sich ein 2/2 Hydraulikventil mit zwei möglichen Stellungen und mit zwei Hydraulikanschlüssen. Durch Takten des zweiten 2/2 Hydraulikventil im Saugzweig der Ankopplung, läßt sich der Widerstand des Pedalwegsimulators gegen die Betätigung des Bremspedals mittels ei-

ner Druckkennlinie, die in der Software des elektronischen Steuergerätes des Bremssystems enthalten ist, gezielt einstellen. Mit Vorteil lassen sich verschiedene lineare oder nichtlineare Pedalweg-Pedalkraft Kennlinien auf recht elegante Weise einstellen und damit die gewünschten nichtlinearen Pedalweg-Bremsdruck Zusammenhänge simulieren. [0015] Im Hilfsbremskreis sind keinerlei elektrischer Hilfsaggregate angeordnet. Damit bleibt der Hilfsbremskreis auch bei Ausfall des elektrischen Bordnetzes im Kraftfahrzeug voll betriebsfähig.

[0016] Das Bremspedal wirkt sowohl bei der Normalbremsung als auch bei der Hilfsbremsung des elektrohydraulischen Bremssystems auf den Hauptbremszylinder. Der Pedalweg ist daher grundsätzlich für den Normalbetrieb als auch für den Hilfsbetrieb nahezu gleich und der Fahrer muß sich nicht auf plötzlich veränderte Pedalwege einstellen. Bei der Hilfsbremsung wird durch die Erfindung der Pedalweg verkleinert.

[0017] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand von Zeichnungen dargestellt und näher erläutert. Es zeigen:

[0018] Fig. 1 ein Blockschaltbild eines elektrohydraulischen Bremssystems mit druckbeaufschlagter Rückstellung des Pedalwegsensors und Rückförderung der Bremsflüssigkeit in den Hilfsbremskreis,

[0019] Fig. 2 einen Tandemhauptbremszylinder mit integriertem mechanisch betätigbaren Ventil, geeignet für das erfindungsgemäße elektrohydraulische Bremssystem.

[0020] Ein elektrohydraulisches Bremssystem nach Fig. 1 besteht typischerweise aus den für sich genommen bekannten Komponenten einer Druckversorgung 2, eines Steuergerätes ECU (für Electronic Control Unit), eines Hydroaggregates HCU (für Hydraulic Control Unit) und einer Betätigungseinheit, bestehend aus Bremspedal 9, Tandemhauptbremszylinder THZ und Pedalwegsensormotor PWS.

[0021] Das Hydraulikaggregat HCU ist bei der Normalbremsung durch Trennventile CVVA (für Cut Valve Vorderachse) und CVHA (für Cut Valve Hinterachse) vom Tandemhauptbremszylinder getrennt. Typischer Weise enthält das Hydraulikaggregat mehrere 2/2 Hydraulikmagnetventile mit jeweils zwei Stellmöglichkeiten und zwei Hydraulikan-schlüssen. Aus Sicherheitsgründen und entsprechend gesetzlicher Zulassungsbestimmungen müssen in einem Kraftfahrzeug mindestens zwei getrennte Bremskreise für die Betriebsbremse vorhanden sein. Im gezeigten vereinfachten Ausführungsbeispiel sind das die beiden Bremskreise für die Vorderachse und für die Hinterachse des Fahrzeugs. Der Bremskreis für die Vorderachse wird gebildet aus einem Einlassventil vorne links EVvl und einem Auslassventil vorne links AVvl und der Radbremse vorne links VL sowie einem Einlassventil vorne rechts EVvr, einem Auslassventil vorne rechts AVvr und der Radbremse vorne rechts VR. Ein Ausgleichventil BV (Balance Valve) zwischen den beiden Einlassventilen kann für einen Druckausgleich zwischen linker und rechter Radbremse sorgen. Dieselbe Anordnung an Magnetventilen findet sich im Hydraulikaggregat nochmals für die Hinterachse. Der Bremskreis für die Hinterachse besteht aus einem Einlassventil hinten links EVhl, einem Auslassventil hinten links AVhl und der Radbremse hinten links HL sowie einem Einlassventil Evhr hinten rechts, einem Auslassventil Avhr hinten rechts und der Radbremse hinten rechts HR. Zwischen linkem und rechtem Einlassventil ist auch wieder ein Ausgleichventil BV für den Druckausgleich zwischen linker und rechter Fahrzeugseite geschaltet. Sämtliche Ventile sind als elektrisch betätigbare, ansteuerbare Magnetventile mit selbsttätiger Rückstellung ausgebildet und werden von dem Steuergerät ECU der Elektrohydraulischen Bremse angesteuert. Die Einlass-

ventile und Auslassventile des Hydraulikaggregates sind als Proportionalventile ausgebildet, da sich mit Proportionalventilen der Bremsdruck in den Radbremsen besser einsteuern läßt. Die Ausgleichventile, die sich jeweils zwischen linker Radbremse und rechter Radbremse befinden, erlauben je nach Bedarfslage der Fahrsituation entweder einen Druckausgleich zwischen linken und rechten Radbremsen oder bei ABS, ASR, ESP Anwendungen durch Trennung von linker und rechter Radbremse eine Einzelbremsung der Fahrzeugräder.

[0022] Die Druckversorgung 2 des Hydraulikaggregates besteht aus einer angetriebenen Hydraulikpumpe, z. B. einer Dreikolbenpumpe, die mit einer Saugleitung S mit dem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter 6 verbunden ist und deren Druckleitung D mit einem Druckspeicher 3 und dem Hydraulikaggregat verbunden ist. Von der Druckversorgung werden die Einlassventile des Hydraulikaggregates mit unter Druck stehender Bremsflüssigkeit versorgt. Die Auslassventile des Hydraulikaggregates bauen bei deren Öffnen den Bremsdruck wieder ab. Die Auslassventile sind deshalb über eine Rückleitung R mit dem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter 6 verbunden, in den die aus den Auslassventilen abfließende Bremsflüssigkeit zurückgeführt wird.

[0023] Bei der Normalbremsung des elektrohydraulischen Bremssystems sind die beiden Bremskreise für Vorderachse und Hinterachse durch zwei Trennventile CVVA, CVHA vom Tandemhauptbremszylinder getrennt. Bei Betätigung des Bremspedals wird die Bremsflüssigkeit aus einer der Druckkammern des Tandemhauptbremszylinder in ein Pedalwegsensormotor gefördert, der in der Regel als hydraulisch betätigbarer Federspeicherdruckzylinder ausgebildet ist. Der Fahrer verrichtet durch die Verdrängung der Bremsflüssigkeit aus dem Hauptbremszylinder in den Hydraulikzylinder des Pedalwegsensors gegen die Federkraft des Pedalwegsensors Arbeit. Über den Kolbenweg des Pedalwegsensors und den vom Fahrer ausgeübten Druck wird der Bremswunsch des Fahrers mittels nicht dargestellter Wege- und Drucksensoren am Pedalwegsensormotor und am Hydraulikaggregat ermittelt und im Steuergerät mittels Software durch Ansteuerung des Hydraulikaggregates in ein Bremsmanöver umgesetzt.

[0024] Im Fehlerfall oder bei Ausfall des Bordnetzes im Kraftfahrzeug geht das Bremssystem in einen Zustand mit einem rein mechanisch-hydraulischen Hilfsbremskreis. Hierzu trennen die Einlassventile des Hydroaggregates die Druckversorgung von den Bremsleitungen der Radbremsen. Die beiden Trennventile CVVA, CVHA verbinden die beiden Druckkammern des Tandemhauptbremszylinders mit den beiden Bremskreisen des Kraftfahrzeuges. Hierdurch bleibt das Fahrzeug mit Muskelkraft durch Betätigung des Bremspedals 9 weiterhin, wenn auch ohne Hilfskraftunterstützung, bremsfähig.

[0025] Die Wirkungsweise und die Beschaltung der bisher beschriebenen verschiedenen Ventile in den verschiedenen Betriebsmodi der Bremssteuerung ist hinlänglich aus bereits eingefügten mechanisch-hydraulischen Zweikreisbremssystemen, ABS, ASR und ESP Bremssystemen bekannt und braucht hier nicht im Detail erörtert zu werden. Sie sind der Vollständigkeit halber für die Anwendung der Erfindung und für das Verständnis der Erfindung nochmals in den Grundzügen kurz abgehandelt worden.

[0026] Die Erfindung liegt nun in der hydraulischen Ankopplung von Tandemhauptbremszylinder und Pedalwegsensormotor an die Druckversorgung des elektrohydraulischen Bremssystems. Hierzu wird die Druckleitung D der Druckversorgung mit zwei in Reihe geschalteten 2/2-Hydraulikventilen mit der Saugleitung der Druckversorgung S oder mit der Rückleitung R zum Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter



5

ter verbunden. Das von der Druckseite her gesehen erste Ventil ist von seiner Funktion und Wirkung ein Druckbeaufschlagungsventil 5 und das in Reihe folgende Ventil ist von seiner Funktion und Wirkung her ein Druckentlastungsventil 4. Druckbeaufschlagungsventil 5 und Druckentlastungsventil 4 sind jeweils selbstrückstellende Hydraulikventile. Das Druckentlastungsventil ist ein von dem Steuergerät ECU des Bremssystems ansteuerbares und betätigbares Magnetventil. Das Druckbeaufschlagungsventil kann grundsätzlich auch als elektrisches Magnetventil ausgebildet sein, das vom Steuergerät des Bremssystems angesteuert wird. In dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Druckbeaufschlagungsventil vorteilhafter Weise ein mechanisch zu betätigendes Hydraulikventil, das über eine mechanische Wirkverbindung vom Hauptbremszylinder betätigt wird. Eine unmittelbare mechanische Betätigung des Druckbeaufschlagungsventils 5 durch den Hauptbremszylinder hat und damit mittelbar durch das Bremspedal hat den Vorteil, daß das Ventil auch noch bei komplettem Ausfall der elektrischen Energieversorgung sicher betätigt werden kann. Das Druckbeaufschlagungsventil und das Druckentlastungsventil sind mit einer Hydraulikleitung verbunden, die ihrerseits über einen Dreiwegeabzweig 10 mit der hydraulischen Rückleitung des Pedalwegsensors verbunden ist. Der Pedalwegsensormotor ist als Hydraulikzylinder mit einem Kolben 11 ausgebildet, der den Zylinder in zwei Kammern teilt. In eine einlaufseitige Kammer 12 und in eine rücklaufseitige Kammer 13. Die einlaufseitige Kammer des Pedalwegsensors steht in hydraulischer Verbindung mit der primären Druckkammer des Hauptbremszylinders und wird bei Betätigung des Bremspedals mit Druck beaufschlagt.

[0027] Das funktionale Zusammenwirken zwischen Hauptbremszylinder, Pedalwegsensormotor, Druckversorgung und Druckbeaufschlagungsventil 5 sowie Druckentlastungsventil 4 ist wie folgt:

Bei der Normalbremsung des Bremssystems, also bei fehlerfreiem Zustand des elektrohydraulischen Bremssystems bleibt das Druckbeaufschlagungsventil dauerhaft in seiner Trennstellung. Die Druckleitung der Druckversorgung ist damit im Normalbetrieb von der rücklaufseitigen Kammer des Pedalwegsensors getrennt.

[0028] In einer in Fig. 1 vorteilhaften Ausführung der Erfindung ist der Pedalwegsensormotor als hydraulischer Federspeicherzylinder ausgebildet. In dem Fall ist die rücklaufseitige Kammer des Pedalwegsensors als Federkammer ausgebildet und enthält eine Druckfeder 14, die den Kolben im unbelasteten Zustand, d. h. bei nicht betätigtem Bremspedal einlaufseitig in seinen Ausgangszustand schiebt.

[0029] Bei der Normalbremsung sind auch die beiden Trennventile CVVA, CVHA in ihrer geschlossen Stellung, so daß der Tandemhauptbremszylinder von dem Hydraulikaggregat getrennt ist. Das hat zur Folge, daß die Hydraulikleitung der sekundärseitigen Druckkammer 16 des Tandemhauptbremszylinders abgeschlossen ist, so daß die eingeschlossene Bremsflüssigkeit eine Bewegung des Sekundärkolben 17 im Tandemhauptbremszylinder verhindert. Ebenso ist bei der Normalbremsung die Hydraulikleitung zwischen der primärseitigen Druckkammer 15 und dem Hydraulikaggregat unterbrochen. Allerdings ist dadurch das Pedal selbst nicht blockiert, da bei Betätigung des Bremspedals die Hydraulikflüssigkeit von dem vom Bremspedal betätigten Kolben in den Pedalwegsensormotor gedrückt wird. Das Druckentlastungsventil 4 in der Rückleitung des Pedalwegsensors ist im Normalzustand geöffnet, so daß der Kolben 11 des Pedalwegsensors in diesem Zustand der Betätigung des Bremspedals in Abhängigkeit der Öffnung des Druckentlastungsventils nachgeben kann. Bei nicht betätigtem Bremspedal kann das Druckentlastungsventil (4)

offen oder geschlossen sein. Allerdings müssen Vorkehrungen getroffen sein, daß bei Betätigung des Bremspedals das Druckentlastungsventil (4) zumindest teilweise öffnet, bevor die Trennventile schließen.

[0030] Hieraus ergibt sich einer der erfindungsgemäßen Vorteile für den Normalbetrieb des elektrohydraulischen Bremssystems. Da der Widerstand der Kolbenbewegung nicht nur von der Federkraft und damit der Rückstellkraft des Pedalwegsensors abhängt, sondern auch von der Öffnung des Druckentlastungsventils lassen sich durch gezieltes Öffnen und Schließen des Druckentlastungsventils 4 lineare oder nichtlineare Pedalweg-Pedalkraft Zusammenhänge einstellen und simulieren. Hierzu wird beispielsweise mit einem Wegsensor 18 der Kolbenweg im Pedalwegsensormotor gemessen und mit einem Drucksensor 19 an der pedalgewandten Bremskammer 15 des Tandemhauptbremszylinders der gewünschte Bremsdruck gemessen. Wegsensor und Drucksensor geben ihre Meßwerte nach Wandlung der Meßwerte in ein Spannungssignal U an das Steuergerät ECU. In dem Steuergerät werden die Meßwerte für den gewünschten Bremsdruck und den Kolbenweg im Pedalwegsensormotor von einer Software in Steuerbefehle für die Ventile des Hydraulikaggregates und damit für den an den Radbremsen anliegenden tatsächlichen Bremsdruck und erfindungsgemäß auch in Steuerbefehle für die Öffnung und Schließung des Druckentlastungsventils 4 umgesetzt. Der Kolbenweg ist hierbei ein Maß für den Pedalweg und der Druck in der primären Druckkammer des Tandemhauptbremszylinders ein Maß für die einzustellende Pedalkraft. Aus Pedalweg und Pedalkraft ermittelt eine Software im Steuergerät (ECU) den Bremswunsch und den einzustellenden Bremsdruck an den Radbremsen. Die von dem Steuergerät angesteuerten Ventile der Bremsanlage sind hierbei Aktoren. In dem Steuergerät selbst sind die Sensor-Aktor Zusammenhänge in Kennfeldern festgehalten, so daß zu jedem Sensordatensatz ein eindeutiger Aktordatensatz und damit eine eindeutige Ansteuerung des Bremssystems, respektive der Ventile des Bremssystems, abgelegt ist. Im Fall des erfindungsgemäß gewünschten linearen oder nichtlinearen Pedalweg-Pedalkraft Zusammenhangs besteht das Kennfeld zur Ansteuerung des Druckentlastungsventils aus einer linearen oder nichtlinearen Kennlinie, bei der der Bremsdruck überproportional, am besten progressiv oder exponentiell mit dem Pedalweg steigt. Dies wird erreicht, indem mit zunehmendem Pedalweg der Schließgrad des Druckentlastungsventils zunimmt. Solche Kennlinien lassen sich regelungstechnisch am besten mit Proportionalventilen nachfahren. Zweckmäßiger Weise ist daher das Druckentlastungsventil als Proportionalventil ausgebildet.

[0031] In einer einfacheren, weniger bevorzugten Ausführungsform kann das Druckentlastungsventil auch als Trennventil ausgebildet sein. In diesem Fall müßte die nichtlineare Pedalweg-Bremsdruck Kennlinie mittels Takten, d. h. schnelles, zeitgesteuertes Öffnen und Schließen des Trennventils nachgefahren werden. Ähnlich einer Pulsweitensteuerung müßten dann mit zunehmendem Pedalweg die Zeitintervalle, in denen das Druckentlastungsventil geschlossen ist, überproportional, am besten progressiv oder exponentiell mit größer werdendem Pedalweg zunehmen. Die hätte allerdings unter Umständen ein leichtes Vibrieren des Bremspedals zur Folge, daß von einem Fahrer eines Kraftfahrzeuges als unangenehm empfunden werden könnte.

[0032] Der zweite, hauptsächliche Vorteil der Erfindung ergibt sich, wenn während einer Bremsung ein Fehler des elektrohydraulischen Bremssystems auftritt. Im Fehlerfall werden alle vier Einlassventile des Hydraulikaggregates für die vier Radbremsen von dem Steuergerät in ihren geschlos-

senen Zustand geschaltet. Falls das Steuergerät ausfällt, gehen die Einlassventile bei Spannungsausfall am Antrieb der Ventile konstruktionsbedingt, selbsttätig in den geschlossenen Zustand. Durch die federkraftbedingte Rückstellung der Ventile wird der geschlossene Zustand bei Spannungsausfall selbsttätig eingenommen. Durch Schließen aller Einlassventile wird die Druckversorgung 2 von den Bremskreisen abgekoppelt. Gleichzeitig öffnen die Trennventile CVVA, CVHA mit denen im Normalzustand das Hydraulikaggregat vom Tandemhaupteinbremszylinder abgekoppelt ist. Die Trennventile gehen konstruktionsbedingt bei fehlender Ansteuerung oder bei Spannungsausfall am Stellglied der Trennventile in die offene Stellung. Durch die federkraftbedingte Rückstellung der Trennventile wird die offene Stellung bei Spannungsausfall selbsttätig eingenommen. Ebenfalls zeitgleich oder früher mit der Rückstellung der Trennventile und der Einlassventile wird das Druckentlastungsventil 4 in der Rückleitung des Pedalwegsensors geschlossen. Auch dieses Ventil ist so konstruiert, daß durch Federkraftrückstellung die geschlossene Position bei Ausfall der Ansteuerung oder bei Ausfall der Spannungsversorgung selbsttätig eingenommen wird. Durch diese Änderungen der Ventilstellungen befindet sich das elektrohydraulische Bremssystem nun in der Rückfallebene. Die Ventilstellungen haben den Hilfsbremskreis aktiviert.

[0033] Beim Hilfsbremskreis ist nun im Beispiel der Fig. 1 die primäre Druckkammer 15 des Tandemhaupteinbremszylinders mit einer Hydraulikleitung über das geöffnete Trennventil CVHA für den Hinterachsbremskreis mit den Radbremsen des Hinterachsbremskreises verbunden. Die sekundäre, zweite Druckkammer 16 des Tandemhaupteinbremszylinders ist nun mit einer Hydraulikleitung über das geöffnete Trennventil CVVA für den Vorderachsbremskreis mit den Radbremsen des Vorderachsbremskreises verbunden. Hierdurch wird die Bewegung des Sekundärkolbens 17 im Tandemhaupteinbremszylinder möglich. Im Hilfsbremsmodus ist durch Schließen des Druckentlastungsventils 4 in der Rückleitung des Pedalwegsensors nun der Kolben des Pedalwegsensors arretiert. Bei Betätigung des Bremspedals kann deshalb keine Bremsflüssigkeit mehr in den Pedalwegsensor fließen. Der vom Fahrer mittels Pedaldruck aufgebrachte Bremsdruck wird von der ersten, primären Druckkammer des Tandemhaupteinbremszylinders mittels Hydraulikleitungen auf die Radbremsen der Hinterachse übertragen. Gleichzeitig wird bei Betätigung des Bremspedals der Sekundärkolben 17, des Tandemhaupteinbremszylinders betätigt und der Bremsdruck in der sekundären Druckkammer mittels Hydraulikleitungen auf die Radbremsen der Vorderachse übertragen.

[0034] Im Unterschied zu bekannten Hilfsbremskreisen von elektrohydraulischen Bremssystemen wird bei der erfindungsgemäßen Anordnung zusätzlich die rücklaufseitige Kammer 13 des Pedalwegsensors PWS mit der Druckversorgung 2 oder zumindest mit dem Druckspeicher 3 der Druckversorgung mittels einer Druckleitung D hydraulisch verbunden. Bei Betätigung des Bremspedals wird über die Verschiebung des Sekundärkolbens 17 im Tandemhaupteinbremszylinder, das mit dem Sekundärkolben in mechanischer Wirkverbindung, z. B. über eine Kolbenstange, stehende Druckbeaufschlagungsventil 5 von seinem geschlossenen Zustand in den geöffneten Zustand umgeschaltet. Hierdurch wird der Druck der Druckversorgung 2 über eine Druckleitung D auf die rücklaufseitige Kammer 13 des Pedalwegsensors aufgeprägt. Zumindest wird der Druckspeicher 3 über eine Druckleitung mit der rücklaufseitigen Kammer 13 des Pedalwegsensors verbunden. Da das Druckentlastungsventil 4 bei der Hilfsbremsung geschlossen ist, wird bei Betätigung des Bremspedals durch Öffnen

des Druckbeaufschlagungsventils 5 der noch im Druckspeicher befindliche Druck an die rücklaufseitige Kammer des Pedalwegsensors angelegt. Sollte sich der Kolben 11 des Pedalwegsensors PWS nicht in seiner einlaufseitigen Endposition befinden, wird er durch diese rücklaufseitige Druckbeaufschlagung in seine einlaufseitige Endposition gefahren, auch gegen einen eventuellen Bremsdruck durch Fußkraftbetätigung des Bremspedals. Der Druck in der Druckversorgung bzw. in dem Druckspeicher ist in der Regel größer als der Bremsdruck der von einem Fahrer mittels Muskelkraft durch Betätigung des Bremspedal aufgebracht wird.

[0035] Dies bewirkt zweierlei Vorteile eines elektrohydraulischen Bremssystems, das mit einer erfindungsgemäßen Ventilanordnung in der Rückleitung des Pedalwegsensors ausgebildet ist:

- Bremsflüssigkeit, die vom Tandemhaupteinbremszylinder in den Pedalwegsensor gefördert worden war, wird durch diese rücklaufseitige Druckbeaufschlagung des Pedalwegsensors wieder zurück in den Hilfsbremskreis befördert. Es ergibt sich eine Volumenrückförderung der im Pedalwegsensor befindlichen Bremsflüssigkeit entweder in den Tandemhaupteinbremszylinder oder in die Bremszylinder der Radbremsen des angeschlossenen Hilfsbremskreises. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist der Hilfsbremskreis für die Hinterräder an den Pedalwegsensor angeschlossen. Natürlich könnte auch der Hilfsbremskreis für die Vorderräder oder eine andere nach den Zulassungsbestimmungen für Kraftfahrzeuge zulässige Kombination aus Vorderrädern und Hinterrädern als Hilfsbremskreis an den Pedalwegsensor angeschlossen sein.

[0036] Sollte das elektrohydraulische Bremssystem mit betätigtem und gedrücktem Bremspedal ausfallen, wird das Bremsflüssigkeitsvolumen das aus dem Tandemhaupteinbremszylinder in den Pedalwegsensor gefördert wurde, wo es für eine Hilfsbremsung verloren wäre, durch die erfindungsgemäße Maßnahme der Volumenrückförderung wieder in den Hilfsbremskreis zurückgeführt und zwar bei betätigtem Bremspedal, ohne daß der Bremsvorgang unterbrochen wird. Bei vorbekannten elektrohydraulischen Bremssystemen muß in diesem Fall das Bremspedal gelöst werden, damit die Bremsflüssigkeit vom Pedalwegsensor in den Hilfsbremskreis zurückfließen kann. Im Anschluß daran wird bei bekannten Systemen der Kolben des Pedalwegsensors blockiert. In einer Gefahrensituation wird daher bei Hilfsbremsungen mit vorbekannten elektrohydraulischen Bremssystemen unter Umständen wertvoller Bremsweg ungenutzt verschenkt. Die Erfindung verkürzt bei der Hilfsbremsung den Bremsweg beträchtlich und erhöht damit die Sicherheit für alle Verkehrsbeteiligten.

- Sollte das elektrohydraulische Bremssystem bei nicht betätigtem Bremspedal ausfallen, so wird mit der erfindungsgemäßen Maßnahme der rücklaufseitigen Druckbeaufschlagung des Pedalwegsensors zusammen mit dem Schließen des Druckentlastungsventils 4 der Kolben 11 des Pedalwegsensors in der einlaufseitigen Endposition arretiert, so daß bei Einleiten einer Hilfsbremsung keine Bremsflüssigkeit vom Tandemhaupteinbremszylinder in den Pedalwegsensor gefördert werden kann. Ein eventuelles Lecken des Druckentlastungsventils 4 kann durch die zusätzliche Druckbeaufschlagung kompensiert werden.

- Vorzugsweise ist bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in der hydraulischen Verbindung



9

zwischen der Druckversorgung (2) und dem Dreiwegeabzweig (10) zum Pedalwegsimulator ein Rückschlagventil (40) eingebaut, das einen Volumenstrom vom Pedalwegsimulator in die Druckversorgung verhindert. Dies verhindert bei ungenügendem Restdruck in der Druckversorgung oder im Druckspeicher eine Volumenförderung von Bremsflüssigkeit aus dem Tandemhauptbremszylinder in die Druckkammer des Pedalwegsimulators. Alternativ können das Rückschlagventil (40) und das Druckbeaufschlagungsventil 5 in einem Bauteil integriert sein.

[0037] Fig. 2 zeigt eine schematische Schnittdarstellung durch einen Tandemhauptbremszylinder mit integriertem, mechanisch betätigbarem Zusatzventil, das als Druckbeaufschlagungsventil 5 für ein erfindungsgemäßes elektrohydraulisches Bremssystem geschaltet werden kann. Der Tandemhauptbremszylinder THZ enthält in einem Gehäuse 25 in an sich bekannter Weise einen Primärkolben 20 mit Zentralventil 23 sowie einen Sekundärkolben 17 mit Zentralventil 22. Die beiden Kolben sind in der angegebenen Reihenfolge beginnend mit dem Primärkolben von der Bremspedalseite her in dem zylinderförmigen, druckfesten Gehäuse nacheinander angeordnet. Die Kolben teilen das Gehäuse, respektive den Bremszylinder in insgesamt vier Teilräume, nämlich einen primären Druckausgleichsraum 26, eine primäre Druckkammer 15, einen sekundären Druckausgleichsraum 27 und eine sekundäre Druckkammer 16. Die beiden Druckausgleichsräume stehen jeweils über Ausgleichsbohrungen mit dem Ausgleichsbehälter 6 des Bremssystems in Verbindung. Der Zwischenraum zwischen dem Primärkolben und dem Sekundärkolben bildet die primäre Druckkammer 15, die über einen Hydraulikanschluß 28a mit dem ersten Bremskreis der Bremsanlage verbunden ist. Der Druckraum, der von dem Sekundärkolben 17 und dem Gehäuse am pedalabgewandten Ende des Bremszylinders gebildet wird, bildet die sekundäre Druckkammer 16, die über einen weiteren Hydraulikanschluß 28b mit dem zweiten Bremskreis der Bremsanlage verbunden ist. Die Pedalkraft vom Bremspedal wird mit einer Kolbenstange 29 auf den Primärkolben übertragen. Im unbelasteten Zustand des Bremszylinders sind die beiden Zentralventile 22, 23 im Primärkolben und im Sekundärkolben geöffnet und erlauben einen Druckausgleich der beiden Druckkammern mit dem Ausgleichsbehälter der Bremsanlage. Im belasteten Zustand, d. h. bei einer Betätigung des Bremspedals schließen die beiden Zentralventile und trennen die beiden Druckkammern jeweils vom Druckausgleichsräumen und damit vom Ausgleichsbehälter der Bremsanlage. Beim Lösen des Bremspedals werden Sekundärkolben und Primärkolben wieder mit Rückstellfedern 24 in ihre unbelastete Ausgangslage zurück gebracht. Soweit sind Tandemhauptbremszylinder aus dem Stand der Technik bekannt.

[0038] Erfindungsgemäß wird nun ein solcher Tandemhauptbremszylinder zur Anwendung in dem vorbeschriebenen elektrohydraulischen Bremssystem mit einem zusätzlichen, elektromechanisch betätigbarem Ventil, mit dem eine äußere Hydraulikleitung geschaltet werden kann, weitergebildet. Hierzu ist an oder in der sekundären Druckkammer ein zusätzliches Hydraulikventil 5 angeordnet, das mit dem Sekundärkolben 17 in mechanischer Wirkverbindung steht. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel der Fig. 2 ist das Hydraulikventil 5 innerhalb der sekundären Druckkammer 16 des Tandemhauptbremszylinders angeordnet und wird mittels einer Kolbenstange 30, die mit dem Sekundärkolben 17 verbunden ist, bei Betätigung des Sekundärkolbens geöffnet, so daß dann die beiden Hydraulikanschlüsse 31 und 32 des zusätzlichen Hydraulikventils miteinander in Verbin-

dung stehen. Wird der Sekundärkolben wieder entlastet, schließt das zusätzliche Hydraulikventil wieder. Der Schließvorgang des Hydraulikventils kann hierbei durch eine im Ventil selbst enthaltene Rückstellfeder 33 unterstützt sein.

[0039] Im Zusammenhang mit einer erfindungsgemäßen Anordnung für ein elektrohydraulisches Bremssystem ist der Tandemhauptbremszylinder mit zusätzlichem Hydraulikventil besonders gut geeignet. Das zusätzliche Hydraulikventil des Tandemhauptbremszylinders kann nämlich in der erfindungsgemäßen Anordnung als Durchbeaufschlagungsventil 5 eingesetzt werden. Hierzu wird der eine, äußere Hydraulikanschluß 31 des zusätzlichen Hydraulikventils mit der Druckversorgung 2 oder zumindest mit dem Druckspeicher 3 eines elektrohydraulischen Bremssystems verbunden und der zweite Anschluß 32 des zusätzlichen Hydraulikventils wird mit der rücklaufseitigen Federkammer 13 des Pedalwegsimulators eines elektrohydraulischen Bremssystems verbunden. Dadurch werden mit Vorteil das Druckbeaufschlagungsventil 5 und der Tandemhauptbremszylinder THZ aus dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 in einem Bauteil vereint und einstückig ausgebildet.

#### Patentansprüche

1. Anordnung für ein elektrohydraulisches Bremssystem bestehend aus einem Tandemhauptbremszylinder (THZ), einem Hydraulikzylinder als Pedalwegsimulator (PWZ), einer Druckversorgung (2) oder zumindest einem Druckspeicher (3) und zwei Hydraulikventilen (4, 5), bei der die primäre Druckkammer (15) des Tandemhauptbremszylinders (THZ) mit der einlaufseitigen Kammer (12) des Pedalwegsimulators (PWZ) verbunden ist, die rücklaufseitige Kammer (13) des Pedalwegsimulators (PWZ) über einen Dreiwegeabzweig (10) hydraulisch mit einer Parallelschaltung zweier Hydraulikleitungen verbunden ist, die jeweils ein Hydraulikventil (4, 5) enthalten.
2. Anordnung nach Anspruch 1, bei der eines der beiden Hydraulikventile ein Druckbeaufschlagungsventil (5) ist und das andere der beiden Hydraulikventile ein Druckentlastungsventil (4) ist.
3. Anordnung nach Anspruch 2, bei der das Druckbeaufschlagungsventil (5) ein elektromechanisches Proportionalventil ist.
4. Anordnung nach Anspruch 2, bei der das Druckentlastungsventil (4) ein Proportionalventil ist.
5. Anordnung nach Anspruch 2, bei der das Druckbeaufschlagungsventil (5) in mechanischer Wirkverbindung mit dem Sekundärkolben (17) des Tandemhauptbremszylinders ist.
6. Anordnung nach Anspruch 5, bei der das Druckbeaufschlagungsventil (5) und der Tandemhauptbremszylinder (THZ) mehrstückig ausgebildet sind.
7. Anordnung nach Anspruch 4, bei der das Druckbeaufschlagungsventil (5) und der Tandemhauptbremszylinder (THZ) einstückig ausgebildet sind.
8. Elektrohydraulisches Bremssystem mit einem Hydraulikaggregat (HCU) für mindestens zwei Bremskreise, mindestens zwei Trennventilen (CVVA, CVHA), einem elektronischen Steuergerät (ECU), einer Druckversorgung (2) oder zumindest einem Druckspeicher (3), mehreren Sensoren (18, 19) zur Ermittlung eines Bremswunsches und mit einer Betätigungseinheit aus einem Bremspedal (9), einem Tandemhauptbremszylinder (THZ) und einem Pedalwegsimulator (PWS), dadurch gekennzeichnet, daß die hydrau-

liche Rückleitung des Pedalwegsensors (PWS) über einen Dreiwegeabzweig (10) mit einer Hydraulikleitung über ein Druckbeaufschlagungsventil (5) mit der Druckversorgung (2) oder mit dem Druckspeicher (3) verbunden ist und mit einer Hydraulikleitung über ein Druckentlastungsventil (4) mit der Saugseite (S) der Druckversorgung oder mit einem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter (6) oder mit der Rückleitung (R) des Hydraulikaggregates verbunden ist.

9. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Druckentlastungsventil (4) mit dem Steuergerät (ECU) verbunden ist.

10. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren Wegesensoren oder Drucksensoren sind.

11. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß am Pedalwegsimulator (PWS) oder am Bremspedal (9) oder am Tandemhauptbremszylinder (THZ) ein Wegsensor (18) und am Tandemhauptbremszylinder (THZ) oder am Pedalwegsimulator (FWS) oder am Hydroaggregat (HCU) ein Drucksensor (19) angeordnet sind,

der Wegsensor (18) und der Drucksensor (19) mit dem Steuergerät (ECU) in Verbindung sind und aus den Signalen des Wegsensors (18) und des Drucksensors (19) in dem Steuergerät mittels Software der Bremswunsch ermittelt wird.

12. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuerung des Druckentlastungsventils (4) in Abhängigkeit der Signale des Wegsensors (18) oder des Drucksensors (19) erfolgt.

13. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Schließgrad des Druckentlastungsventils (4) mit zunehmendem Pedalweg des Bremspedals (9) überproportional oder exponentiell zunimmt.

14. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß im Fehlerfall einer der Komponenten des Bremssystems oder bei Ausfall des Steuergerätes (ECU) das Druckentlastungsventil (4) geschlossen ist.

15. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 8 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß im Fehlerfall einer der Komponenten des Bremssystems oder bei Ausfall des Steuergerätes (ECU) bei Betätigung des Bremspedals (9) das Druckbeaufschlagungsventil (5) geöffnet ist.

16. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Tandemhauptbremszylinder (THZ) und das Druckbeaufschlagungsventil (5) mehrstückig ausgebildet sind.

17. Elektrohydraulisches Bremssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Tandemhauptbremszylinder (THZ) und das Druckbeaufschlagungsventil (5) einstückig ausgebildet sind.

18. Tandemhauptbremszylinder (THZ), bei dem in einem zylinderförmigen Druckgehäuse 25 mittels eines Primärkolbens (20) mit Zentralventil (23) und eines Sekundärkolbens (17) mit Zentralventil (22) eine primäre Druckkammer (15) und eine sekundäre Druckkammer (16) realisiert sind, dadurch gekennzeichnet, daß an oder in der sekundären Druckkammer (16) ein zusätzliches 2/2 Hydraulikventil (5) angeordnet ist, das mit dem Sekundärkolben (17) in mechanischer Wirkverbindung steht.

19. Tandemhauptbremszylinder nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das 2/2 Hydraulikventil

(5) eine Rückstellfeder (33) enthält.

20. Verfahren zur Ansteuerung eines elektrohydraulischen Bremssystems mit einem Hydraulikaggregat (HCU) für mindestens zwei Bremskreise, mindestens zwei Trennventilen (CVVA, CVHA), einem elektronischen Steuergerät (ECU), einer Druckversorgung (2) oder zumindest einem Druckspeicher (3), mehreren Sensoren (18, 19) zur Ermittlung eines Bremswunsches und mit einer Betätigungseinheit aus einem Bremspedal (9), einem Tandemhauptbremszylinder (THZ) und einem Pedalwegsimulator (PWS), dadurch gekennzeichnet, daß in der Rücklaufleitung des Pedalwegsensors (PWS) mittels Hydraulikventilen (4, 5) der hydraulische Druck variiert wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Hydraulikventil (4) in der Hydraulikleitung zwischen Pedalwegsimulator (PWS) und Saugseite der Druckversorgung (2) oder Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter oder Rückleitung (R) des Hydraulikaggregates (HCU) von dem Steuergerät (ECU) mit einer linearen oder nichtlinearen Pedalweg-Pedalkraft Kennlinie angesteuert wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß bei der nichtlinearen Pedalweg-Pedalkraft Kennlinie die Pedalkraft mit zunehmendem Pedalweg überproportional insbesondere progressiv oder exponentiell steigt.

23. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß im Fehlerfall einer Komponente des elektrohydraulischen Bremssystems oder bei Ausfall des Steuergerätes und bei Betätigung des Bremspedals der rücklaufseitige Hydraulikanschluß des Pedalwegsensors (PWS) mit der Druckseite der Druckversorgung (2) oder zumindest mit dem Druckspeicher (3) hydraulisch verbunden wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß im Pedalwegsimulator (PWS) befindliche Bremsflüssigkeit in einen Hilfsbremskreis zurückgeführt wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



